

PREDIKSI DISPERSI DAN AKUMULASI ANAK LURUH Ra-226 DAN Pb-214 KELUARAN INDUSTRI PLTU BATU BARA DENGAN PERANGKAT LUNAK DCAL

Budi Setiawan, A Muzakky

Pusat Sains dan Teknologi Akselerator- BATAN

Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 ykbb, Yogyakarta 55281

budiswan@batan.go.id

ABSTRAK

PREDIKSI DISPERSI DAN AKUMULASI ANAK LURUH Ra-226 DAN Pb-214 KELUARAN INDUSTRI PLTU BATU BARA DENGAN PERANGKAT LUNAK DCAL. Telah dilakukan PREDIKSI dispersi dan akumulasi anak luruh Ra-226 dan Pb-214 keluaran industri pltu batu bara dengan perangkat lunak DCAL. Tujuan penelitian ini melakukan prediksi paparan aktifitas anak luruh Ra-226 dan Pb-214 yang terdapat pada darah dan hati selama 1 bulan dan 10 bulan.. Prediksi dilakukan dengan perangkat lunak DCAL (Dose and Risk Calculation) dari Environmental Protection Agency (EPA No. DW899934657-3) dengan memilih radionuklida Ra-226 dan Pb-214. Prediksi dilakukan dengan mengambil parameter ukuran partikulat partikel PM 10 (10 μ m) dan PM 2,5(2,5 μ m) di satu titik PLTU Cilacap dengan mempertimbangkan masukan seperti jumlah radionuklida yang terhisap dalam kurun waktu tertentu. Hasil prediksi dengan perangkat lunak DCAL ternyata ukuran dari partikulat material (PM 10 dan PM 2,5) tidak menunjukkan perubahan berarti dalam aktivitas akumulasi di dalam darah dan hati. Ukuran partikulat material ternyata menjadi sangat berbeda bila digunakan pada parameter penyerapan pernafasan (*inhalation*). Hasil prediksi akumulasi dalam darah dan hati untuk radionuklida Ra-226 selama 1 bulan masing-masing 1.E-4 Bq dan 1.E-3 Bq. Sementara untuk radionuklida Pb-214 yang terakumulasi selama 10 bulan dalam darah dan liver menunjukkan 1.E-7 Bq. Berdasarkan batas yang diperbolehkan oleh BAPETEN ternyata kandungan Ra-226 dan Pb-214 yang terhisap masih di bawah ambang batas masukan tahunan melalui pernafasan.

Kata Kunci : DCAL, EPA, PM 10, PM 2,5, prediksi, akumulasi

ABSTRACT

PREDICTION OF DISPERSION AND ACCUMULATION OF DECAY DAUGHTERS OF Ra-226 AND Pb-214 EMITTED BY COAL POWERED ELECTRICITY GENERATOR USING DCAL SOFTWARE. Prediction of dispersion and accumulation of decay daughters of RA-226 and Pb-214 emitted by coal powered electricity generator using DCAL software has been conducted^[1]. The objective of this study is to predict the activity exposure of Ra-226 and Pb-214 decay daughters in the blood and liver for in month and 10 months. the prediction is conducted using DCAL (Dose and Risk Calculation) software [1] from the Environmental Protection Agency (EPA NO. DW899934657-3) by selecting radionuclide RA-226 and Pb-214. The prediction was conducted by taking a particulate measurement parameter of PM 10 (10 μ m) and PM 2.5(2.5 μ m) in one point in Cilacap Coal Powered Electricity Generator by considering the inputs such as the amount of radionuclide inhaled in a certain period of time. The prediction result using DCAL software for material particulate measurement (PM 10 and PM 2.5) did not show any significant change in accumulation activity in the blood and liver. material particulate measure was very different when used on the inhalation parameter. the acumulation prediction in the blood and liver for radionuclide Ra-226 for one month was 1.E-4 and 1.E-3 Bq. Meanwhile for radionuclide Pb-214 accumulated in 10 months in the blood and liver show 1.E-7 Bq. Based on the limit allowed by BAPETEN, the amount of Ra-226 and Pb-214 inhaled were under the annual inhalation limit. ^[2]

Keywords : DCAL, EPA, PM 10, PM 2,5, prediction, acmulation

PENDAHULUAN

Sejak tahun 2010 PTAPB melakukan kegiatan monitoring di Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) mulai dari Rembang, Cilacap, Paiton dan Pacitan serta untuk tahun 2013 akan ditingkatkan di PLTU

Tuban Jatim. Mengingat banyaknya permasalahan pencemaran udara di daerah urban/berpenduduk padat ataupun rural/pedasaan di sekitar PLTU tersebut, seperti masalah pernafasan (batuk), iritasi kulit hingga kanker paru, serta dampak terhadap

pertanian dan tambak^[1], maka diperlukan studi yang komprehensif dan terpadu oleh para peneliti di berbagai bidang. Peneliti di bidang ilmu lingkungan akhir-akhir ini telah terfokus pada studi dengan banyaknya fraksi udara PM 10 (diameter, 10 μm) dan khususnya partikulat dengan fraksi PM 2,5 (diameter, 2,5 μm) yang dikeluarkan oleh PLTU^[2]. Partikulat-partikulat tersebut ternyata terbukti sebagai penyebab dampak terhadap kasus COPD (*Chronic Obstructive Pulmonary Disease*), *asthma exacerbation*, *respiratory symptoms*, berkurangnya morbidity dan mortality fungsi paru juga sebagai penyebab terjadinya kanker paru. Berdasarkan pustaka lain ternyata hasil analisis abu layang dari beberapa PLTU dari beberapa negara ternyata sangat bervariasi aktivitasnya dari 117 – 435 Bq kg⁻¹ untuk U-238, 44 – 255 Bq kg⁻¹ Ra-226, 59 – 205 Bq kg⁻¹ Pb-210, 9 - 41 Bq kg⁻¹ Ra-228 (Th-232) dan 59 - 227 Bq kg⁻¹ untuk K-40. ^[3].

Dengan tertangkapnya radionuklida-radionuklida tersebut oleh filter PM 2,5 dan PM 10, maka *Environmental Protection Agency (EPA), USA* telah mengeluarkan perangkat lunak Dose and Risk Calculation (DCAL) untuk menghitung dosis and *risk coefficients* terhadap beberapa jaringan tubuh manusia^[4]. Selanjutnya dibawah sponsor dari EPA, yang Dosimetri Research Group (sekarang Modeling Team Biosystems di Advanced Biomedis Sains dan Teknologi Group) di Oak Ridge National Laboratory (ORNL) telah mengembangkan sistem perangkat lunak DCAL yang komprehensif untuk perhitungan dosis jaringan dan risiko kesehatan selanjutnya dari intake radionuklida atau paparan radionuklida dalam lingkungan telah diadopsi beberapa Negara. Perangkat lunak DCAL telah dipakai luas oleh beberapa peneliti pada penentuan risiko terkena beberapa jaringan oleh penyakit kanker pada paparan radiasi rendah. Telah mengembangkan informasi yang telah menjadi isu penting sejak terjadinya dampak korban bom atom di Jepang, khususnya Nagasaki dan Hiroshima memakai perangkat lunak DCAL.^[5] Selanjutnya terdapat metodologi pada aplikasi DCAL yang menjelaskan untuk menurunkan perkiraan morbiditas yang kelebihan dan kematian akibat dosis rendah radiasi pengion. Ternyata dengan menggunakan metodologi ini, perkiraan numerik dari risiko per unit dosis diturunkan untuk setiap situs kanker yang berlaku, dan untuk radiasi partikel alpha telah tertabelkan ^[6]. Kemudian ECKERMAN^[7] memperkenalkan aplikasi faktor numeric seperti “*dose factor*” atau dose “*coefficients*” untuk menaksir resiko kesehatan akibat terpaparnya radionuklida masuk kedalam tubuh. Pada studi tersebut telah tertabelkan koefisien

resiko terkena kanker atau eksternal ekspose lebih adari 800 radionuklida yang terlepas kedalam lingkungan udara, air dan tanah menggunakan perangkat DCAL^[1].

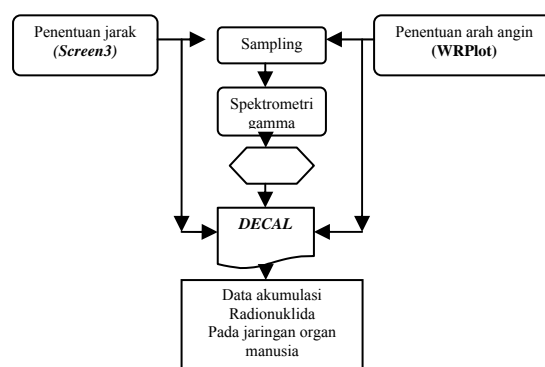
Pada penelitian ini dilakukan aplikasi perangkat lunak DCAL untuk menghitung kumulatif aktivitas yang diterima atau terakumulasi di dalam organ tubuh manusia khususnya darah dan hati. Pada penelitian ini dipilih radionuklida Ra-226 dan Pb-214 karena radiotoksitasnya terkenal dari Ra-226 berdasarkan (1) Kesamaan sifat kimia radium dengan kalsium, yang memungkinkan terlokalisasinya dan terakumulasinya radionuklida Ra-226 dalam beberapa jaringan tulang ketika tertelan (2) umur paruh radium yang panjang (1600 y) serta efek biologi kedalam tulang (1.64.104 d, tulang)^[8] dan (3) partikel alfa yang teremisikan dari peluruhan Ra-226 dan dari empat turunan radioaktifnya (Rn-222, Po-218, Pb-214 dan Po-210) masing-masing mempunyai toksisitas yang berlainan. Radionuklida Ra-226 terdapat dalam berbagai konsentrasi dan sumber pencemar seperti disemua tanah, batu dan alami badan air, serta distribusinya di lingkungan tersebar luas. Radionuklida Ra-226 akan mudah terserap oleh tanah dan tanaman pangan oleh karenanya dimasukkan ke dalam rantai makanan-humans^[9].

Hasil penelitian diharapkan dapat sebagai *benchmarking* dan peramalan dampak laju dosis yang diterima oleh setiap individu tiap tahun akibat peristiwa tercemar polutan radioaktif. Penelitian juga diharapkan dapat digunakan sebagai alat taksir resiko dan perencanaan bagi pengambil keputusan dalam hal pelepasan substansi zat berbahaya (radionuklida/logam) yang terlepas ke udara

METODA PENELITIAN

Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian ini dapat digambarkan pada diagram alir Gambar 1,

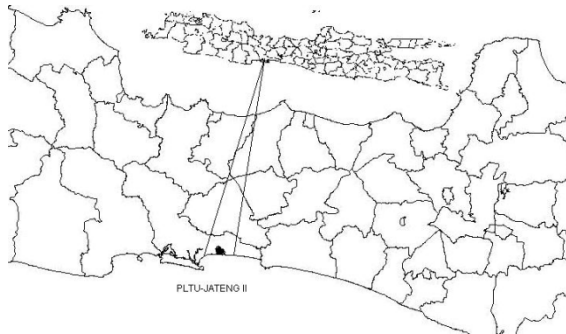


Gambar 1. Diagram alir penelitian penentuan laju dosis dispersi radionuklida PLTU

Lokasi dan Waktu Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel udara dilakukan pada musim kemarau di lokasi PLTU-Jateng II di desa Karangkandri dan Menganti Kecamatan Kesugihan kabupaten Cilacap, propinsi Jawa Tengah. Ditentukan 3 lokasi pengambilan sampel, yaitu pada penyimpanan batu bara, di dekat *electrostatic precipitator* (ESP) dan di bagian pembuangan kerak (dekat ruang pembakar).

Berikut peta lokasi dari pengambilan sampel di PLTU Jateng II



Gambar 2. Peta lokasi pengambilan sampel

Penggunaan pemodelan dengan SCREEN-3 dan WRPLOT^[10] dapat ditentukan waktu pengambilan sampel yaitu bulan Juni 2011 dengan asumsi cuaca stabil.

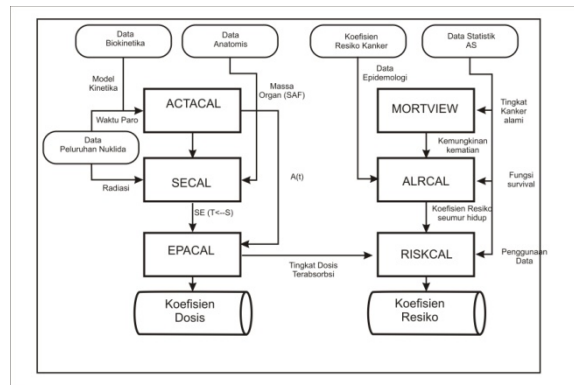
Spektrometri Gamma

Sampel PM₁₀ dan PM_{2,5} hasil sampling ditentukan anak luruh U-238, Th-232 dan K-40 dengan spektrometri gamma, dengan sistem detektor Ge(Li) ORTEC, model no.8001-1026-WS dengan aktif volume sebesar 48.7 cm³. Spektrometer gamma tersebut mempunyai total resolusi sebesar 3.91 keV FWHM dan efisiensi relatif deteksi sebesar 10.6%. Selanjutnya jarak sampel dengan detektor diatur berkisar ± 25 cm, dan detektor ditempatkan di tengah-tengah wadah timbal (“*shielding*”) berbentuk kubus dengan ketebalan timbal 20 cm, panjang 80 cm, lebar 80 cm dan tinggi 100 cm. Setiap sampel batu bara, kerak dan abu layang diukur anak luruh U-238, Th-232 dan K-40 selama 6 jam. Selanjutnya Intensitas energi sinar gamma yang digunakan untuk menghitung masing-masing anak luruh U-238, dan Th-232 terutama untuk 186.2keV(²²⁶Ra) dan 610.2 keV(²¹⁴Pb). Perangkat lunak komputer Maestro II dengan model A64-BI yang telah dikembangkan oleh EG&G ORTEC, digunakan untuk mengevaluasi spektra radionuklida yang muncul. Dengan daerah kerja energi yang berkisar diantara 41 keV hingga 2810 keV, spektrometri gamma tersebut cukup memberikan daerah kerja yang proportional untuk mengukur aktivitas *Naturally Occurring Radioactive Material (NORM)* didalam menentukan aktivitas partikulat material PM 10 dan PM 2,5.

Pemodelan dengan DCAL

Dalam penelitian ini dicoba dilakukan untuk radionuklida Ra-226 dan Pb-21. Pemilihan Ra-226 disebabkan radionuklida ini harus paling diwaspadai oleh pekerja maupun penduduk di lingkungan PLTU Batubara^[11], sedangkan Pb-214 merupakan radionuklida yang mempunyai toksisitas tinggi.^[12] Adapun jaringan organ tubuh yang diteliti adalah liver dan darah (*blood*), keduanya merupakan organ tubuh yang sangat vital dan saling terkait dalam fungsi kesehatan manusia.

Prinsip kerja DCAL sebagaimana pada diagram Program DCAL pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Program DCAL

Kemudian dipilih program ATACAL

- Memasukkan jenis radio nuklida (Ra-226 dan Pb-214)
- *INTAKEXP.AGE*
- *Compute absorbed*
- *Compute Compartment & Source-Region Activity*
- *Intake via inhalation*
- *Lung absorption type moderate*
- *Occupational exposures*
- *Input AMAD* (ukuran partikel)

Program DECAL akan menghitung dan memberikan gambar grafik sesuai jaringan organ tubuh yang dipilih (liver dan darah).

Kemudian dimasukkan data ukuran partikel (2,5 um dan 10 um) dan dengan dimilih “PLOT selected data” serta bagian anggota badan (Blood dan Liver) yang dipilih maka secara otomatis program akan melakukan perhitungan dan menghasilkan tayangan grafik, sebagaimana terlihat pada Gambar 4 a dan 4 b (ukuran 2,5 um)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Eksekusi perangkat lunak DCAL untuk Ra-226 dan Pb-214, dihasilkan Tabel 1a dan 1 b.

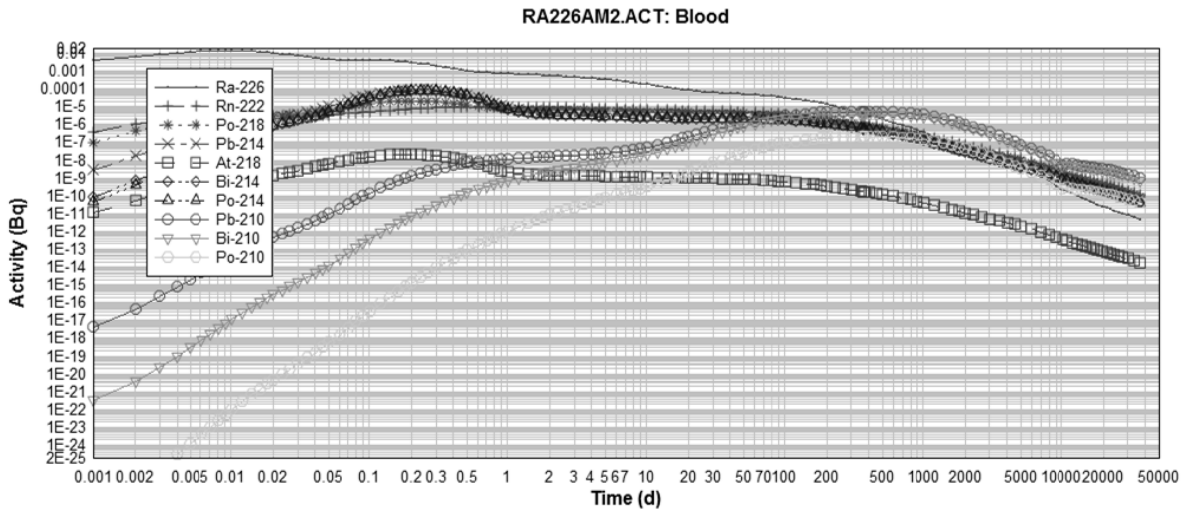
Tabel 1.a. Peluruhan dan Waktu Paro untuk Ra-226

	Nuklida	Waktu paro	f1		Nuklida	f2	Nuklida
1	Ra-226	1600 th	1,0->	2	Rn-222		
2	Rn-222	3,8235 h	1,0->	3	Po-218		
3	Po-218	3,05 m	1,0->	4	Pb-214	2,0-04->	5 At-218
4	Pb-214	26,8 m	1,0->	6	Bi-214		
5	At-218	2 d	1,0->	6	Bi-214		
6	Bi-214	19,9 m	1,0->	7	Po-214		
7	Po-214	164,3 ud	1,0->	8	Pb-210		

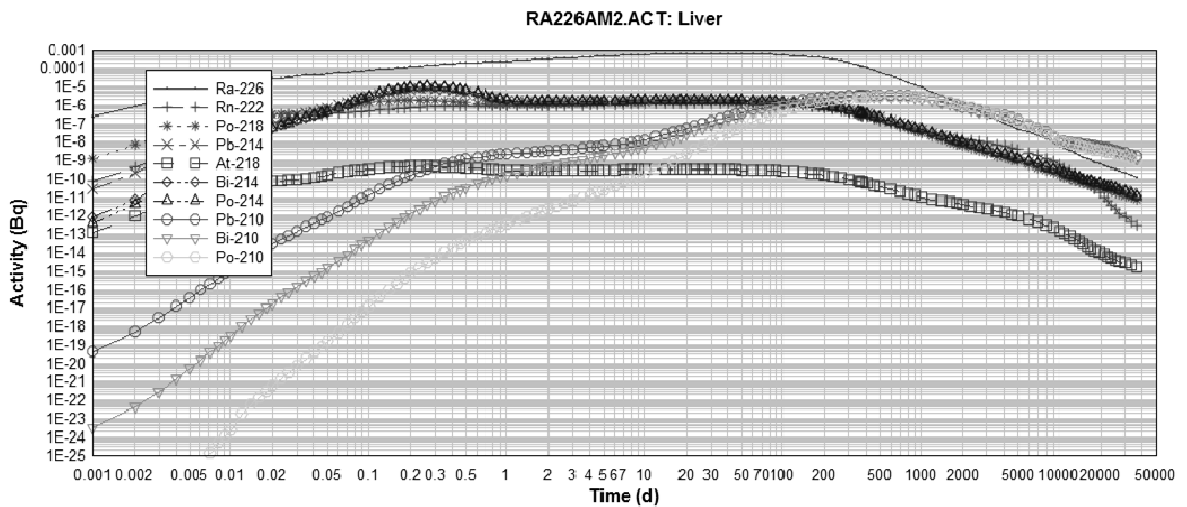
8	Pb-210	22,3 th	1,0->	9	Bi-210		
9	Bi-210	5,012 h	1,0->	10	Po-210		

Tabel 1.b. Peluruhan dan Waktu Paro untuk Pb-214

	Nuklida	Waktu paro	f1		Nuklida	f2	Nuklida
1	Pb-214	26,8 m	1,0->	2	Bi-214		
2	At-218	2 d	1,0->	3	Bi-214		
3	Bi-214	19,9 m	1,0->	4	Po-214		
4	Po-214	164,3 ud	1,0->	5	Pb-210		
5	Pb-210	22,3 th	1,0->	6	Bi-210		
9	Bi-210	5,012 h	1,0->	10	Po-210		



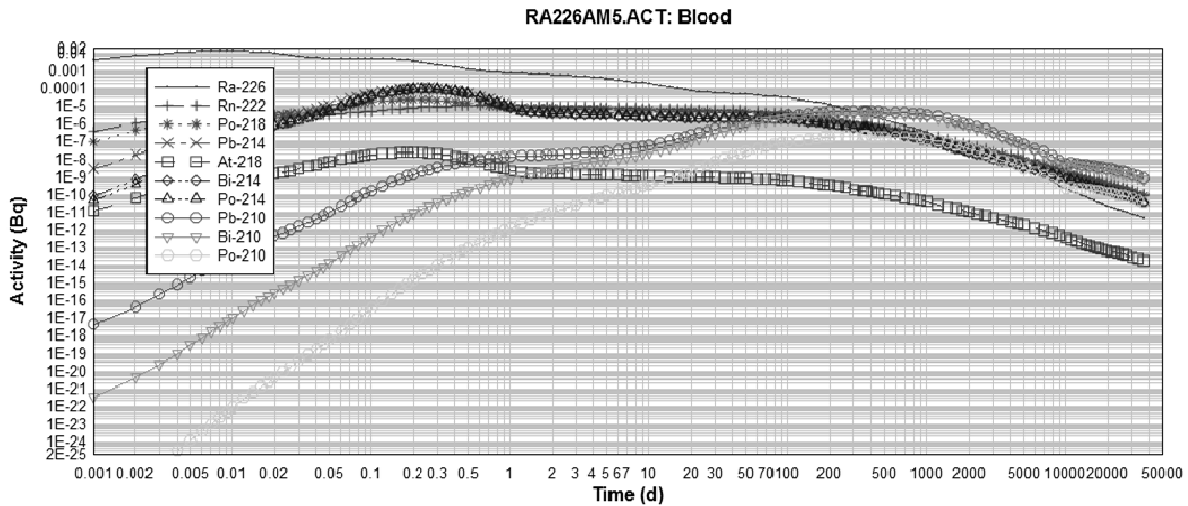
Gambar 4.a. Grafik Aktivitas Ra-226 (2,5 um) dan peluruhannya di dalam darah pada berbagai waktu (hari)



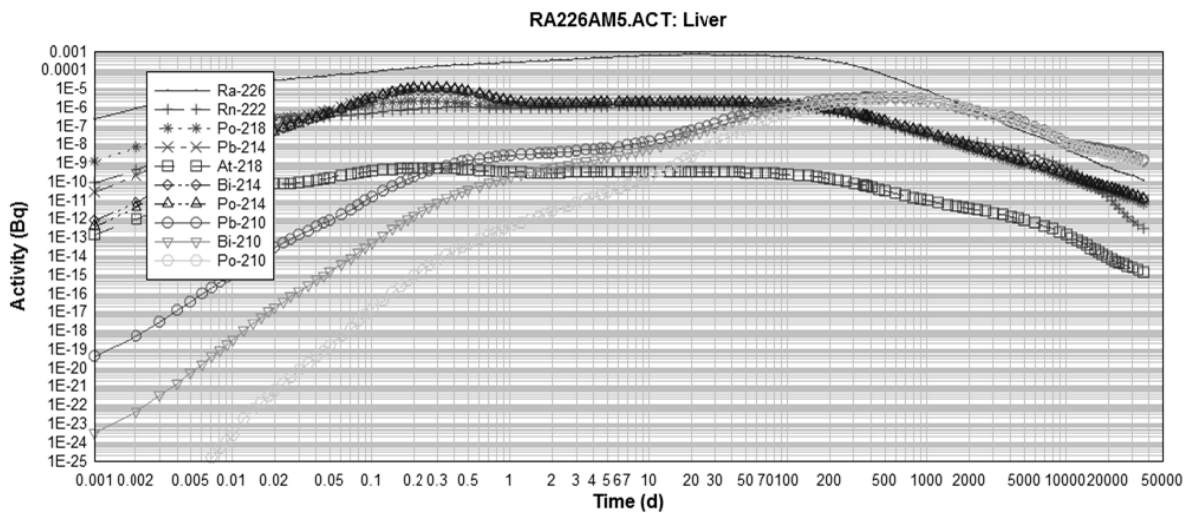
Gambar 4.b. Grafik Aktivitas Ra-226 (2,5 um) dan peluruhannya di dalam Liver pada berbagai waktu (hari)

Dari Gambar 4.a dan b dapat dilihat bahwa Ra-226 dalam darah terus meluruh, sementara anak luruhnya akan naik jumlahnya serta memuncak pada hari ke 0,2 sampai hari ke 1000 dan kemudian akan meluruh

Sedang untuk ukuran partikel 10 um, menghasilkan tayangan sebagaimana terlihat pada Gambar 4.a dan 4.b.



Gambar 5.a. Grafik Aktivitas Ra-226 (10 um) dan peluruhannya di dalam darah pada berbagai waktu (hari)

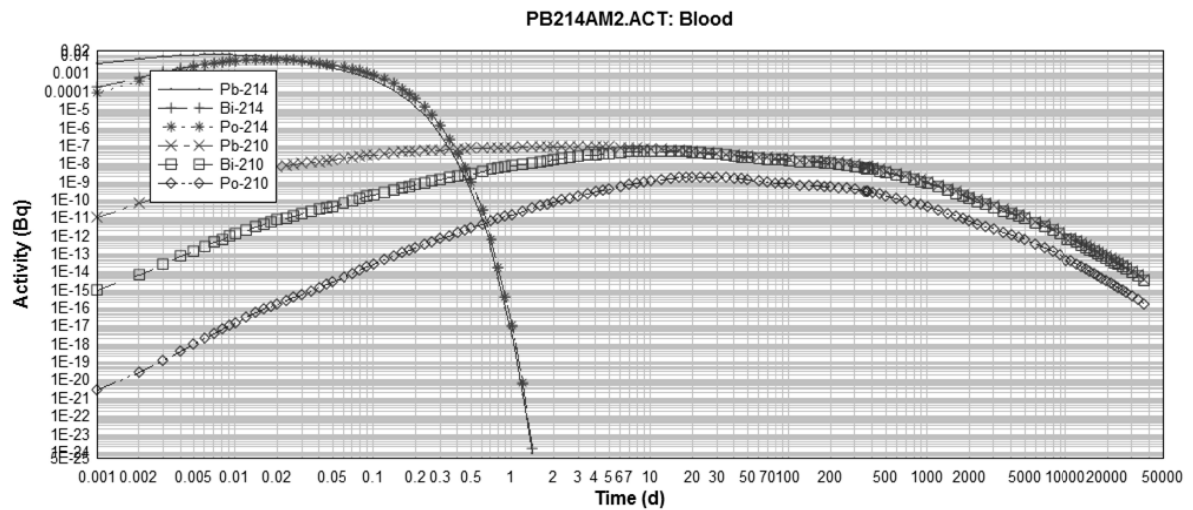


Gambar 5b. Grafik Aktivitas Ra-226 (10 um) dan peluruhannya di dalam Liver pada berbagai waktu (hari)

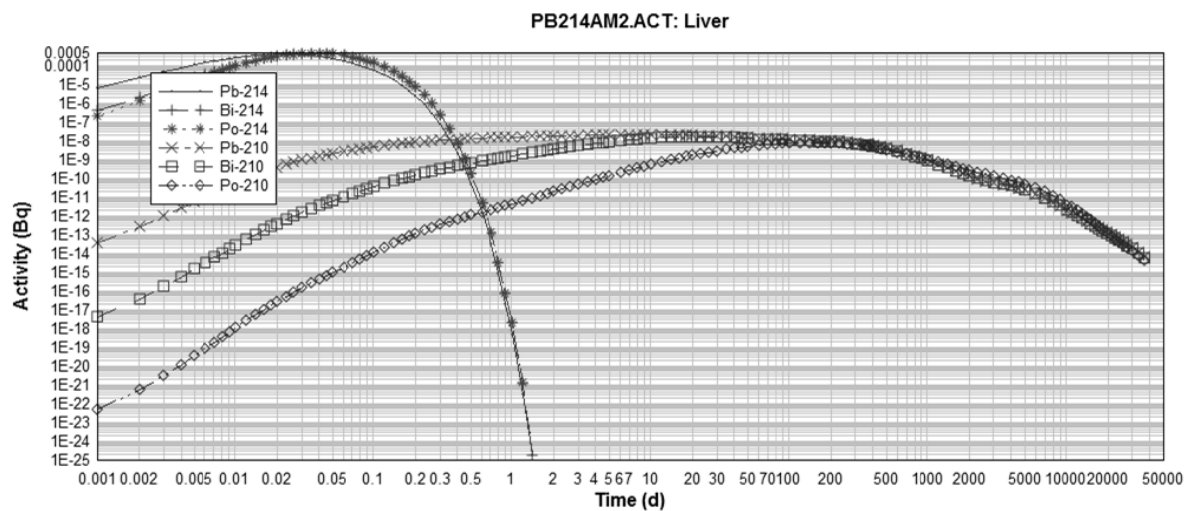
Gambar 5a dan 5b menunjukkan pola yang sama dengan Gambar 4a dan 4b. Dari berbagai grafik tersebut terlihat tidak tampak adanya perbedaan yang nyata dari ukuran partikel 2,5 um dan 10 um terhadap aktivitas nuklida Ra-226 di dalam darah maupun

liver, kesemuanya pada hari ke 50000 masih menunjukkan aktivitas yang cukup tinggi.

Untuk nuklida Pb-214 ukuran 2,5 um, menghasilkan tayangan grafik sebagaimana pada gambar 6.a dan 6.b



Gambar 6.a. Grafik Aktivitas Pb-214 (2,5 um) dan peluruhannya di dalam darah pada berbagai waktu (hari)

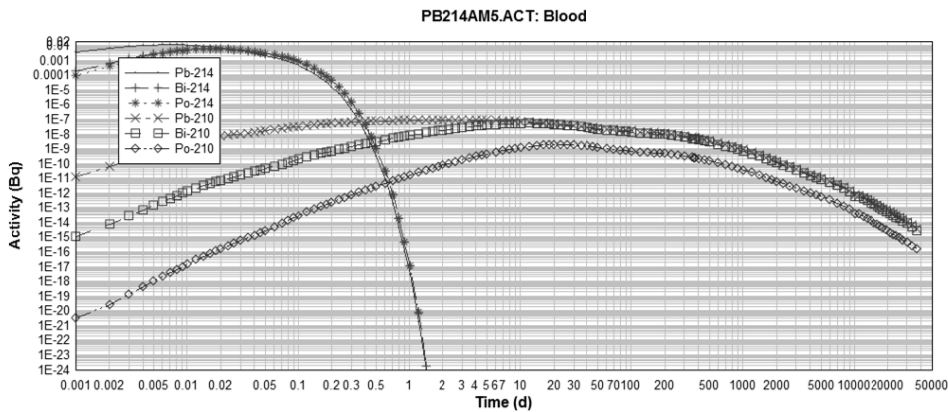


Gambar 6.b. Grafik Aktivitas Pb-214 (2,5 um) dan peluruhannya di dalam Liver pada berbagai waktu (hari)

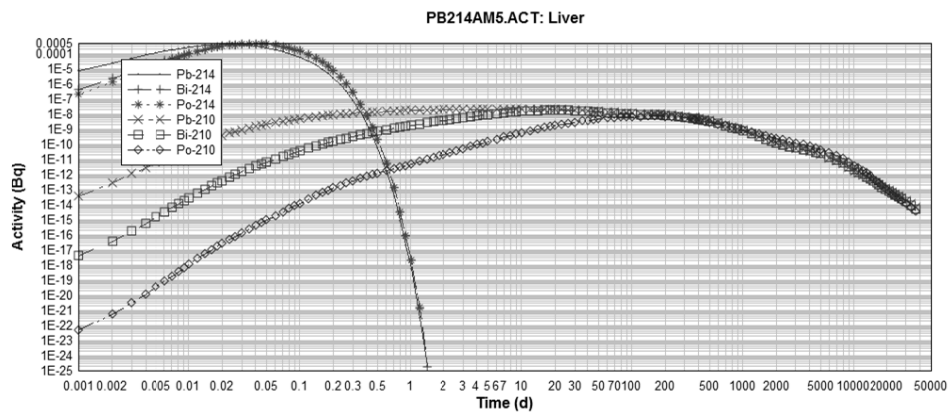
Gambar 6a dan 6b menunjukkan suatu pola yang berbeda untuk nuklida Pb-214, Bi-214, dan Po-214, karena waktu paro yang pendek, sehingga pada hari ke 1,5 sudah hampir habis aktivitasnya. Sedangkan

untuk Pb-210, Bi-210, dan Po-210 sampai hari ke 50000 masih nampak aktivitasnya.

Untuk ukuran partikel 10 um dari nuklida Pb-214, terlihat gambar 7.a dan 7.b



Gambar 7.a. Grafik Aktivitas Pb-214 (10 um) dan peluruhannya di dalam darah pada berbagai waktu (hari)



Gambar 7.b. Grafik Aktivitas Pb-214 (10 um) dan peluruhannya di dalam Liver pada berbagai waktu (hari)

Sebagaimana Ra-226, maka pada nuklida Pb-214 juga tidak tampak adanya beda nyata antara ukuran partikel 2,5 um dengan ukuran 10 um Untuk menghitung akumulasi nuklida, maka berdasar pada data lapangan dapat dihitung jumlah nuklida yang dihirup oleh seseorang dan waktu yang dibutuhkan untuk seseorang menghirup nuklida sejumlah 1 Bq

Tabel 2. Perhitungan Penyerapan Nuklida melalui pernafasan di daerah Cilacap

2,5 um	Bq/m3	nafas m3/menit	Bq/mnt	mnt/Bq	hari/Bq
Ra-226	0.003869	0.006	0.000023214	43077.45326	29.9148981
Pb-214	0.0003695	0.006	0.000002217	451059.991	313.236105
Ra-226	0.0000011	0.006	6.6E-09	151515151.5	105218.855
Pb-214	0.0000001	0.006	6E-10	1666666667	1157407.41

Catatan : seorang dewasa menghirup udara 0,006 m³/menit^[14]

Dari hasil perhitungan Tabel 2. Dimasukkan ke dalam Grafik, baik pada nuklida induk maupun hasil anak luruhnya. Maka akan di dapat data seperti pada Tabel 3.a dan 3.b.

Tabel 3.a. Akumulasi Nuklida dalam Darah dan Liver, karena, menghirup Ra-226 dalam udara selama 29,915 hari (1 bulan).

Nuklida	Darah, Bq	Liver, Bq
Ra-226	1.E-4	1.E-3
Rn-222	1.E-5	1.E-6
Po-218	1.E-5	1.E-6
Pb-214	1.E-5	1.E-6
At-218	1.E-9	1.E-9
Bi-214	1.E-5	1.E-6
Po-214	1.E-5	1.E-7
Pb-210	1.E-6	1.E-7
Bi-210	1.E-7	1.E-8
Po-210	1.E-8	1.E-8

Sedangkan ukuran partikel 10 um, untuk Ra-226 dibutuhkan waktu mencapai 1 Bq, adalah 105218,855 hari dan Pb-214 dibutuhkan waktu 1157407,41 hari. Keduanya jauh di luar grafik yang hanya sampai 50000 hari.

Tabel 3.b. Akumulasi Nuklida dalam Darah dan Liver, karena ,menghirup Pb-214 dalam udaraselama 313,236 hari (10 bulan).

Nuklida	Darah, Bq	Liver, Bq
Pb-210	1.E-7	1.E-7
Bi-210	1.E-7	1.E-7
Po-210	1.E-9	1.E-9

KESIMPULAN

1. Besarnya partikel padatan yang mengandung nuklida berpengaruh dalam kemungkinan masuknya partikel tersebut dalam tubuh, tetapi tidak berbeda nyata ketika sudah masuk dalam tubuh
2. Untuk ukuran partikel 5 um, Ra-226 dalam 1 bulan akan terhirup sebanyak 1 Bq, sementara Pb-214 butuh 10 bulan
3. Akumulasi Ra-226 dalam darah selama 1 bulan adalah 1.E-4 Bq, dan dalam liver 1.E-3 Bq, sedang untuk Pb-214 selama 10 bulan dalam darah dan liver adalah 1.E-7 Bq.
4. Perlu diadakannya cek darah pada penduduk di sekitar PLTU untuk mengetahui adanya kandungan radionuklida.

DAFTAR PUSTAKA

1. Luhar A.K, Hurley P.J, (2003). Evaluation of TAPM a prognostic meteorological and air pollution model using urban and rural point source data. *Atmospheric Environment* V.37, p. 2795–810.
2. Pratama D.S., (2007)., Air pollutant dispersion modeling (A case study of environmental impact assessment of PLTU 2 Jawa timur), Thesis University of Gajah Mada.Papastefanou.C., (2010)., Escaping radioactivity from coal-fired power plants (CPPs) due to coal burning and the associated hazards: a review., *Journal of Environmental Radioactivity.*, Vol.101, 3, , pp. 191-200.
3. Eckerman.K.F et al., (2006)., User's Guide to the DCAL System, Prepered by Oak ridge National Laboratory, P.O. Box 2008. Oak Ridge, Tennessee 37831-6285, ORNL/TM-2001/190.
4. Anonim., (1994)., Estimating Radiogenic Cancer Risks., U.S. Environmental Protection Agency 401 M Street S.W. Washington, DC 20460., EPA 402-R-93-076.
5. Anonim., (1999)., Estimating Radiogenic Cancer Risks., U.S. Environmental Protection Agency 401 M Street S.W. Washington, DC 20460., EPA 402-R-99-003.
6. Eckerman.KF et al., [1999]., Cancer Risk Coefficients For Environmental Exposure to

Radionuclides., U.S. Environmental Protection Agency 401 M Street S.W. Washington, DC 20460., Federal Guidance Report No13., EPA 402-R-99-001.

7. Akyil.S, Aslani.M.A.A., Gurboga.G., Aytas.S., Eral. M., (2002)., Activity concentration of radium-226 in agricultural soils., *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 254, No. 1 p. 9–14.*
8. Justo.J.,Evangelista.H.,Paschoa.A.S.,(2006)., Direct determination of ²²⁶Ra in NORM/TENORM matrices by gamma-spectrometry., *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 269, No.3 p. 733–737.*
9. Muzakky, Agus Taftazani., (2012)., Studi pengukuran aktivitas anak luruh u-238, th-232 dan k-40 dalam filter pm 10 dan pm 2,5 di daerah – JATENG II., *Journal Iptek Nuklir.*, Vol 15, no1, p. 21-30.
10. Anonim, (2004), *Good Practice Guide for Atmospheric Dispersion Modelling*, Prepared by the National Institute of Water and Atmospheric Research, Aurora Pacific Limited and Earth Tech Incorporated for the Ministry for the Environment. Published by the Ministry for the Environment Manatū Mō Te Taiao, PO Box 10-362, Wellington, New Zealand, www.mfe.govt.nz.
11. Kam.E., Bozkurt.A., Ilgar.R., (2010) A study of background radioactivity level for Canakkale, Turkey, *Enviromental Monitoring and Assessment* , V.168, p. 685-690.
12. Cevik.U.,Damla.N., Nezir.S., (2007)., Radiological characterization of Cayirhan coal-fired power plant in Turkey., *FUEL*,V.86, 16, , 2509-2513.
13. Nazaruddin Umar (2004), Sistem Pernafasan dan Suctioning pada Jalan Nafas, <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/1940/3/anastesiologi-nazaruddin.pdf.txt>; 15 Januari 2014.

TANYA JAWAB

W. Prasud

- Untuk membuktikan hasil prediksi disperse dan akumulasi ini valid adakah rencana untuk pengambilan sampel darah di lokasi PLTU terdekat, mohon penjelasannya?

Budi Setiawan

- Sementara belum ada rencana, tetapi menjadi saran. Diharapkan setelah melakukan untuk radionuklida lain, pengukuran sampel darah bisa dilakukan.

Isman Mulyadi Triatmoko

- Mohon penjelasan untuk radionuklida yang waktu paruhnya rendah, bagaimana cara pengukurannya?

Budi Setiawan

- *Untuk radionuklida dengan waktu paruh rendah tidak dilakukan pengukuran tetapi dilakukan pemodelan.*